A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

ANALIZA EXPERIMENTALĂ A TENSIUNILOR REMANENTE DINTR-O PIESĂ TURNATĂ

Ioan Aurel CHERECHEŞ, Mircea Cristian DUDESCU, Mircea BEJAN

EXPERIMENTAL ANALYSYS OF RESIDUAL STRESSES IN A CASTING

In this paper, the authors study the residual stresses that arise in a water drinker (used in animal husbandry). The residual stresses are being determined experimentally using blind hole method.

Cuvinte cheie: tensiuni remanente, metoda găurii oarbe cu martor de deformație, adăpătoare
Keywords: residual stresses, blind hole method, water drinker

1. Consideraţii generale

Literatura de specialitate arată faptul că adăpătorile utilizate în zootehnie (pentru taurine) nu au o formă adecvată (vezi figura 1) unei producții ridicate iar un studiu efectuat la un important vânzător local de instalații și accesorii pentru zootehnie, arată ca acestea prezintă și numeroase probleme de fiabilitate.

Cauzele deteriorării adăpătorilor sunt însumarea valorilor tensiunilor remanente din procesul de turnare cu tensiunile din exploatare iar valorile rezultate depășesc limitele admisibile pentru materialul din care sunt realizate.

Prin introducerea/realizarea unei găuri (chiar și de diametru mic) într-un corp supus tensiunilor remanente, tensiunile din acel loc se relaxează.

Fig.1 Adăpătoare automată cu clapetă

Eliminarea acestor tensiuni de pe suprafața găurii schimbă starea de tensiuni din imediata apropiere a acesteia, cauzând modificarea corespunzătoare a eforturilor de la suprafața corpului.

Încă de la inventarea ei, de către Mathar în anii 1930, metoda găurii a ajuns să fie cea mai des utilizată metodă cu scop general pentru tehnica de determinare a tensiunilor remanente în materiale.

Metoda găurii oarbe este una dintre cele mai larg folosite metode cu scop general pentru tehnica de determinare a tensiunilor remanente în materiale. Ea are ca avantaje precizia bună, fiabilitatea, faptul că este singura procedură standardizată de determinare a tensiunilor remanente, precum şi punerea în aplicare practică, relativ facilă. Prejudiciul cauzat piesei este localizat, fiind o mică gaură care în multe situații poate fi reparată.

Metoda modernă a găurii oarbe derivă din munca de pionierat a lui Josef Mathar în anii 1930. Din acel moment, metoda a crescut şi s-a dezvoltat remarcabil, cu contribuţii de la numeroşi cercetători. Metoda găurii oarbe este acum bine stabilită, cu o procedură de testare standard (ASTM) şi există o bogată literatură pentru instruire. Un tribut adus conceptului original al lui Mathar este faptul că, chiar şi după mai bine de 75 de ani, interesul pentru această metodă continuă să crească [4, 5].

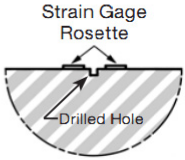

Fig. 2 Aparat folosit pentru ghidarea de precizie [8]

În figura 2 este prezentat un aparat modern, folosit pentru ghidarea de precizie.

2. Etapele metodei

Metoda găurii oarbe cu martor de deformație [8] implică următorii pași:

1. fixarea unei rozete cu trei sau șase elemente de măsurare, la locul în care urmează să fie determinate tensiunile;
2. elementele de măsurare (rozetele) se conectează la un sistem de achiziție de date;
3. un ghidaj de precizie este centrat deasupra zonei de găurire (vezi figura 2);
4. după aducerea la zero a circuitelor, se efectuează în centrul geometric al rozetei o gaură (de regulă de diametru mic și de adâncime mică);
5. se citesc datele;
6. se calculează tensiunile.

3. Aspecte practice

În vederea determinării experimentale a tensiunilor și deformațiilor din piesă, s-a proiectat și realizat un stand (vezi figura 3) care să permită studiul tensiunilor pentru încărcări cât mai apropiate de realitate, respectiv posibilitatea aplicării metodei găurii oarbe (rotirea și alinierea cât mai bună a dispozitivului cu piesa) în zonele de interes în cazul tensiunilor remanente.

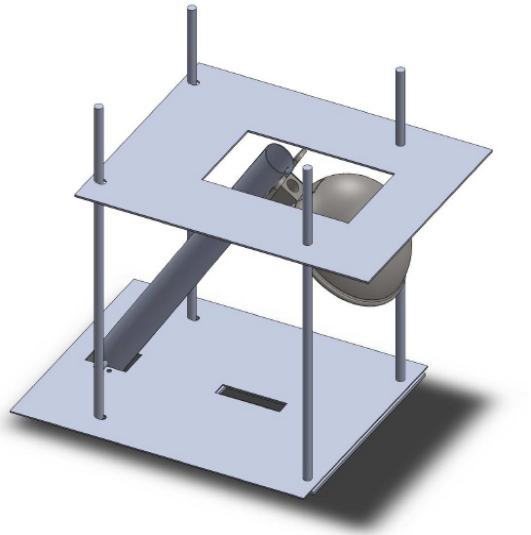

Fig. 3 Stand pentru măsurători

Rozeta folosită ca martor de deformație (vezi figura 4) este modelul RY21 produsă de HBM și are următoarele caracteristici:

rezistența electrică 120 Ω, a = 3 mm, b = 2,5, d = 22 mm, tensiunea maximă de excitare a punții = 4,5 V.

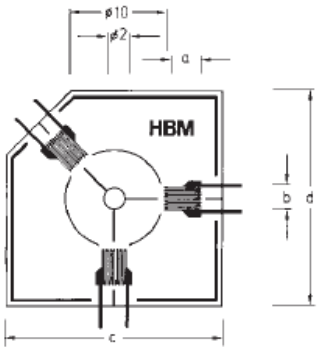

Fig. 4 Rozeta RY21 [7]

Pentru a asigura o lipire de calitate între rozetă și piesă, suprafața trebuie pregătită corespunzător.

Scopul pregătirii suprafeței este acela de a obține o suprafață cu o textură corespunzătoare lipirii fără a se altera starea de tensiuni de la suprafața piesei. Orice urmă de oxizi, rugină sau vopsea trebuie îndepărtată. Standardul UNI 10478-3 sugerează o rugozitate de 2,0-4,0 μm pentru rozetele care vor fi lipite cu adezivi cianoacrilici.

Cea mai rapidă și mai simplă metodă de lipire a rozetei de piesă, este folosirea adezivului cianoacrilat. Acest tip de adeziv este format dintr-un singur component și are un timp scurt de uscare (1-2 minute). Acest tip de adeziv este relativ simplu de folosit.

Dacă suprafața pe care urmează să fie lipită rozeta este rugoasă, este important să se aleagă un adeziv care să umple asperitățile pentru a obține o lipitură bună. În acest caz este recomandat un adeziv bicomponent, mai vâscos.

Aparatura folosită pentru măsurarea deformațiilor este formată din sistemul de achiziție de date multicanal Spider 8, ce se conectează la calculator prin intermediul conectivității USB, împreună cu software-ul Catman care permite obținerea rapidă a rezultatelor datorită unei interfețe intuitive, conține librării pentru analiza experimentală a tensiunilor, permite exportarea graficelor, obținute în urma măsurătorilor, în alte formate (de exemplu Microsoft Word), permite exportarea datelor în formate cunoscute (Excel, ASCII etc.) [6].

Legarea rozetei, active, în circuit cu sistemul de achiziție de date, s-a realizat în semipunte, folosindu-se o rozetă identică pentru compensarea termică.

După fixarea (lipirea) rozetei pe suprafața piesei, dispozitivul mecanic cu care se realizează găurirea, a fost poziționat în apropierea rozetei. Alinierea centrului rozetei cu centrul găurii s-a realizat cu ajutorul unui microscop (poziționat în dispozitivul de găurire) care conține un reticul pe obiectiv (centrul obiectivului coincide cu centrul

sculei cu care se realizează găurirea), astfel încât semnele de ghidare de pe rozetă să fie în câmpul vizual al microscopului.

O atenție deosebită a necesitat și obținerea perpendicularității dintre dispozitivul de găurit și suprafața piesei ce urma a fi găurită. De exemplu, dacă urmează să fie realizată o gaură cu diametrul de 2 mm și se va folosi o rozetă cu traductori cu lungimea (activă) de 1,5 mm, o înclinare de 1^0 față de verticală va conduce la o diferență de 17 μm între marginea exterioară și centrul frezei burghiului [2].

Standardul ASTM E837-08 prevede o serie de considerații legate de distanța minimă dintre centrul găurii și cea mai apropiată schimbare de geometrie. În cazul folosirii unei rozete standardizate de tip A, ca în cazul de față, distanța minimă față de cea mai apropiată discontinuitate trebuie să fie de minimum 1,5 D (minimum necesar 7,7 mm - distanța folosită, aproximativ 20 mm).

În figura 5 este prezentată rozeta HBM RY21, montată pe piesă, în zona de interes, gaura realizată și conexiunile electrice.

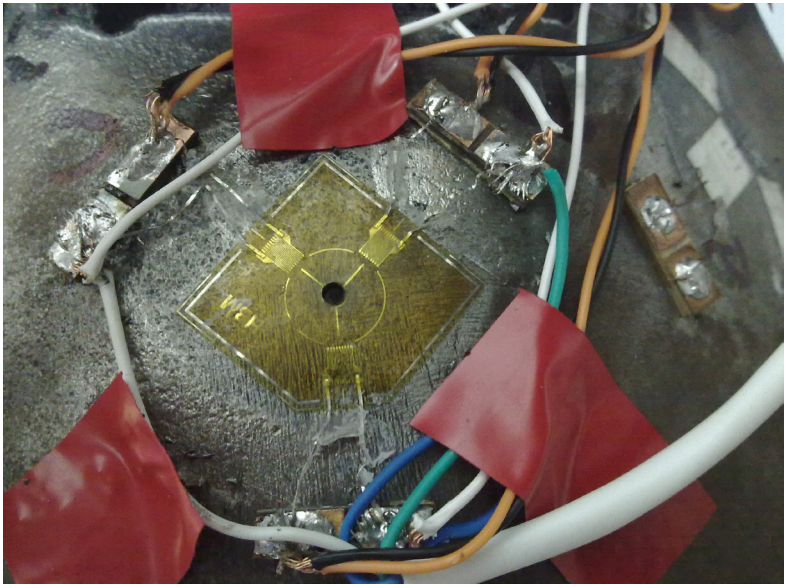

Fig. 5 Rozeta montată pe piesă

4. Calcularea tensiunilor remanente

Calcularea efectivă a tensiunilor remanente, se poate face fie manual fie folosind aplicații software specializate.

În starea plană de tensiuni, tensiunile sunt considerate uniforme în direcția adâncimii și se face doar o singură citire a valorilor deformațiilor ε_1, ε_2 și ε_3.

Din deformațiile măsurate, se pot calcula următoarele valori:

$$p = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}{2}, \quad q = \frac{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{2} \text{ și } t = \frac{(\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2)}{2} \tag{1}$$

unde:

p – reprezintă componenta deformației hidrostatice

q,t – reprezintă componentele deformațiilor de forfecare.

Componentele tensiunilor P, Q și T se calculează din p,q și t folosind următoarele ecuații:

$$P = \frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} = -\frac{Ep}{\bar{a}(1+\nu)}$$

$$Q = \frac{\sigma_Y - \sigma_X}{2} = -\frac{Eq}{\bar{b}} \tag{2}$$

$$T = \tau_{XY} = -\frac{Et}{\bar{b}}$$

Tensiunile principale sunt calculate folosind următoarele relații:

$$\sigma_{MAX}, \sigma_{MIN} = P \pm \sqrt{Q^2 + T^2} \tag{3}$$

Unghiul β care este format de către tensiunile principale, σ_{MAX}, cu direcția traductorului (măsurat în sens orar pentru rozetele de tip CW și măsurat în sens antiorar pentru rozetele de tip CCW), este calculat cu următoarea relație:

$$\beta = \frac{1}{2}\arctan\left(\frac{-T}{-Q}\right) \tag{4}$$

Direcția unghiului β, este definită în funcție de semnele lui T și Q- [2].

În urma calculării tensiunilor remanente (maxime principale) din valorile deformațiilor specifice măsurate de către traductoarele rozetei tensometrice, s-a putut trasa graficul prezentat în figura 6.

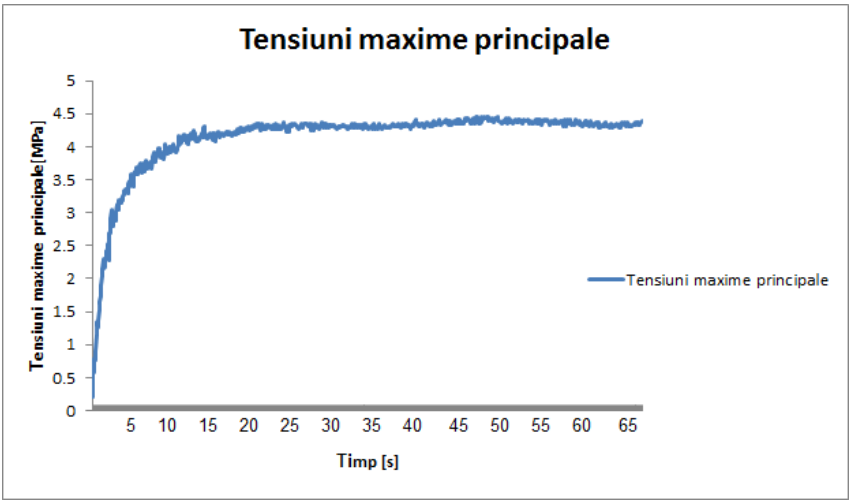

Fig. 6 Evoluția tensiunilor remanente în urma găuriri

5. Concluzii

■ Pentru siguranţa în funcţionare a construcţiilor inginerești determinarea tensiunilor remanente este deosebit de importantă, tehnicienii fiind preocupaţi continuu de găsirea căilor şi metodelor de evaluare și dirijare controlabilă a acestora.

■ Metoda găurii oarbe cu martor de deformație este singura metodă standardizată de determinare a tensiunilor remanente.

■ Rezultatele obținute experimental sunt în bună concordanță cu valorile obținute prin simularea numerică a tensiunilor remanente ce rezultă în urma procesului de turnare. Rezultatele obținute numeric sunt prezentate în lucrarea [3], iar abaterea calculată între cele două metode este de 5,34 %.

■ Cunoscând starea de tensiuni din corpul adăpătorii se poate proceda la optimizarea acesteia.

BIBLIOGRAFIE

[1] Bejan, M., Bal, N., Bejan Ioana, *Aspecte privind determinarea experimentală a tensiunilor remanente în dornurile pentru laminoarele Pilger.* Al VI-lea Simpozion naţional de tensometrie şi încercări de materiale, cu participare internaţională, Craiova, septembrie 1992, vol. 1, pag. 13-20, 2 fig., 1 tab., 6 ref.bibl.

[2] Bejan, M., Simion, Mihaela, Chereches, I.A., Lakatos, Gh.D., Vidican, I., *Compendii din Rezistența materialelor*, în curs de publicare, Editura AGIR, București, 2013 și Editura MEGA, Cluj Napoca, 2013.
[3] Chereches, I.A., Bejan, M., *Analiza numerică a tensiunilor remanente dintr-o piesă,* Știință și Inginerie, An XIII, Editura AGIR, București, 2013, 6 pag., 4 fig., 9 ref. bibl. – în curs de publicare.
[4] Schajer, G.S., *Hole-Drilling Residual Stress Measurements at 75: Origins, Advances, Opportunities*, SEM XII International Congress & Exposition on Experimental and Applied Mechanics, Albuquerque, NM, June 1-4, 2009.
[5] Schajer, G.S, *Advances in Hole-Drilling Residual Stress Measurements,* Proceedings of the XI-th International Congress and Exposition, Orlando, Florida USA, June 2-5, 2008.
[6] * * * Aias Asociazzione italiana per l`analisi delle solecitazzioni, *The hole-drilling strain gauge method for the measurement of uniform or non-uniform residual stresses*, Florence, 2010.
[7] * * * www.hbm.com
[8] * * * www.vischaypg.com

Drd.Ing. Ioan Aurel CHERECHEȘ,
Departamentul Inginerie mecanică,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, membru AGIR
e-mail: relu_chereches@yahoo.com

Conf.Dr.Ing. Mircea Cristian DUDESCU
Departamentul Inginerie mecanică,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, membru AGIR
e-mail: Mircea.Dudescu@rezi.utcluj.ro

Prof.em.Dr.Ing. Mircea BEJAN
Departamentul Inginerie mecanică,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
preşedintele Filialei Cluj a AGIR
e-mail: Mircea.Bejan@rezi.utcluj.ro

NOTĂ: Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "*Creșterea calității studiilor doctorale în științe inginerești pentru sprijinirea dezvoltării societății bazate pe cunoaștere*", contract: POSDRU/107/ 1.5/S/78534, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.